

わが国における気象要素の長期変動および周期性の解析

山口 正 隆*・大 福 学**

1. 結 言

近年、地球規模での気候変化が重大な関心を集めていることから、気象の長期変動や周期性に関する研究が国内外を問わず数多く行われてきた。たとえば、100年を越える観測データの解析に基づく地球規模での気温の長期変動に関する研究が山元ら(1990)により行われ、温暖化を含めた異常気象の現状が気象庁(1989)により報告されている。また、特定地点あるいは少数点での気象要素時系列に含まれる周期性の検討結果が花房(1977)や甲斐(1984)によりまとめられ、日本全国規模での風速変動時系列の周期性の解析に関する一連の研究が森(1986)やKai(1987)により行われている。しかし、解析対象とする気象要素は主として風速や気温など少数の要素に限定されており、気象要素全般についての解析例は少ない。

そこで、本研究では気象庁要素別月別累年値(SMP)ファイルに収録された全国154地点の海面更正気圧(気圧と呼ぶ)、気温、日最高気温、日最低気温、相対湿度、蒸気圧、風速、雲量、日照時間、日照率および降水量の11要素に関する月別平均値資料(観測開始年～1990年の最長118年間)、日原簿データ(SDP)ファイルに収録された全国153地点の気圧、気温および風速についての日別平均値資料(そのうち、136地点で1961年～1990年の30年間)および風向を含む3時間ごとの特別値資料(1986年～1987年の2年間)に対する傾向変動解析やスペクトル解析などの各種の統計解析から、各気象要素統計量の変動特性や地域・緯度依存性を考察する。

2. 長期気象資料の解析法

(1) 月別平均値資料

まず、欠測期間中の各気象要素資料の月別平均値を同一月の前後年資料に対する線形内挿から推定する。日別平均値資料および特別値資料についても欠測値の補充は前後日あるいは前後時資料に対する線形内挿による。

つぎに、3種類の方法により統計解析を行う。その第1は傾向変動解析であり、このため、各気象要素の月別平均値資料から算出した年別平均値資料に1次直線をあてはめて勾配値を求め、これを各気象要素の経年的増加あるいは減少傾向指標とする。あてはめ期間は、解析期間の長短による傾向変動の相違を調べるため、1990年を基点とした最近5年、10年、30年、50年、75年、100年および100年以上の全観測年についての7種類とする。

第2の方法では、月別平均値資料から平均値 m 、標準偏差 σ 、skewness $\sqrt{\beta_1}$ 、kurtosis β_2 (平均統計量と呼ぶ) を求めるとともに、時間間隔 $\Delta t = 1 \text{ month}$ 、lag $m = 50$ 、周波数分解能 $\Delta f = 1/2 m \Delta t = 1/100$ (1/月)、自由度 $f_r \approx 2N/m$ (N : データ数) の条件のもとに、Blackman-Tukey 法 (BTM) によるスペクトル解析を行い、スペクトル $E(f)$ から各種卓越周期成分 (12, 6 および 4 ヶ月) の無次元量 $fE(f)/\varepsilon$ を求める。ここに、 f は周波数、 ε は全エネルギーである。年別平均値資料については、その標準偏差を算出するとともに、周波数分解能の高い最大エン트로ピー法 (MEM) により $\Delta t = 1 \text{ year}$ 、予測誤差フィルターの項数 $M = 19$ 、周波数分解能 $\Delta f = 1/(N-1)\Delta t$ の条件のもとにスペクトル解析を行い、卓越周期成分を抽出する。

第3の方法では、累年月別平均値資料 (12ヶ月分12個) に対する Fourier 解析から 12, 6 および 4 ヶ月成分の振幅と位相角を算出する。

(2) 日別平均値資料

気圧、気温および風速の日別平均値資料に対しては、平均統計量の算出と BTM によるスペクトル解析 (30年間資料では、 $N = 10957$ 、 $\Delta t = 1 \text{ day}$ 、 $m = 730$ 、 $\Delta f = 1/2 m \Delta t = 1/4$ (1/年)、 $f_r = 30$) を行う。また、スペクトルの計算結果から卓越周期成分 (12, 6 および 4 ヶ月) の抽出や周期帯別無次元エネルギー $\int E(f) df / \varepsilon$ の計算を行う。用いる周期帯は 292～487日、40.6～60.8日、10～20日および 2～10日の4個である。

(3) 特別値資料

SDP ファイルに含まれる特別値資料は膨大な量になることから、数十日以下の変動成分の解析を目的とし

* 正会員 工博 愛媛大学教授 工学部土木海洋工学科

** 愛媛大学教官 工学部土木海洋工学科

て、対象期間を1986年～1987年の2年間に限定する。そして気圧、気温および風速、風向（風速の絶対値 U 、風速の南北成分 U_x 、風速の東西成分 U_y ）の時刻別資料から、平均統計量を求めるとともに、累年時刻別平均値（3～24時の3時間ごと8個の資料）に対する Fourier 解析から、24、12および8時間成分の振幅と位相角を算出する。また、2年間資料（ $N=5840$ 個）のうち、時刻の新しい $N=4096$ 個の資料を用いて FFT 法（ $\Delta t=0.125$ day、フィルターの平滑化個数15、 $\Delta f=1/64$ （1/日）、 $f_r=30$ ）によりスペクトル解析を実施し、卓越周期成分（9.1、5.3、4.9 および 3.8日と24、12 および 8時間）の抽出を行う。

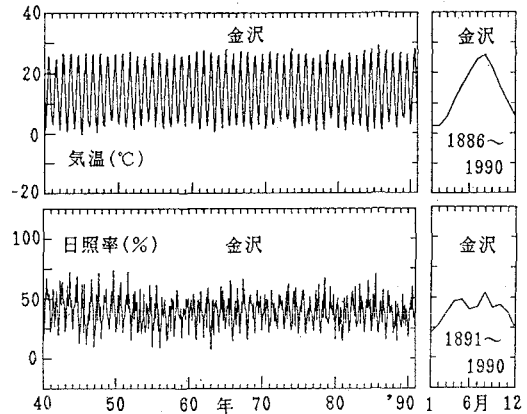
3. 気象要素の傾向変動および平均値特性

（1）月別平均値時系列

図一1は各気象要素のうち気温および日照率の月別平均値時系列（40年間に限定）と累年月別平均値の経月変化の1例を示したものである。各気象要素は明確な1年周期で繰り返すもの（気温、日最高気温および日最低気温の気温3要素のほか、気圧および蒸気圧）と、1年周期の変化が明確でないもの（日照率のほか、湿度、風速、雲量、日照時間および降水量）に分かれ、しかも地点により1年の周期性の強弱が異なる。こうした傾向は1年周期が卓越する気象要素は単峰性に振幅の大きい月変化を示し、1年周期が明確でない気象要素はより複雑な月変化波形をとることからも理解されよう。また気温のほか、日最低気温および湿度に一方向的な増減傾向が、日照率のほか、蒸気圧、風速、雲量および日照時間に長周期変動が見出される。

（2）傾向変動

表一1は各気象要素の傾向変動を表す勾配値が負値（前半の数字）あるいは正值（後半の数字）をとる地点数を各解析期間ごとに一括して示したものである。これらのうち、解析期間長にかかわらず増加傾向にある気象要素は、気圧（ただし、75年以下）、気温3要素および雲量、減少傾向にあるのは日照時間および日照率、30年以上で減少傾向にあるのは、湿度、蒸気圧、風速および



図一1 月別平均値時系列および累年月別平均値の経月変化

降水量であることから、長期的にみて、わが国は全般的に温暖乾燥化の傾向にある。しかし、最近10年では日照時間および日照率は減少傾向、それ以外の気象要素（風速の5年間資料を除く）は増加傾向にあることから、むしろ温暖湿潤化傾向にあるといえる。

つぎに、各気象要素勾配値の地域・緯度依存性は解析期間長や気象要素ごとに変動し、解析期間が長いほど地点数の減少と相まって不明瞭になるが、30年以下の資料では、気圧、気温3要素、蒸気圧、日照時間、日照率および降水量に比較的に明確な緯度依存関係が見出される。たとえば、図一2に示すように、気圧の増加率や降水量の減少率は高緯度地域ほど大きい。ただし、図中の三角印は南西諸島のデータを表す。また、緯度依存図の作成にあたっては、高度依存性を少なくするため、海拔300 m以上の12観測点における資料と南方洋上の父島および南鳥島における資料を除外している。

気温3要素は、図一3に例を示すように、10年以下の時間スケールでは高緯度地域ほど高い上昇率を明瞭に示すが、30～50年という時間スケールでは緯度にはほとんど依存しないか、むしろ低緯度地域ほど上昇傾向を示すように解析期間長により、逆の緯度依存性が現れる。しかも30～50年スケールでは、年平均日最高気温の

表一1 気象要素勾配値が正負をとる地点数

年数	気圧	気温	最高気温	最低気温	湿度	蒸気圧	風速	雲量	日照時間	日照率	降水量
5	21/127	1/153	3/151	1/153	53/97	3/151	80/73	44/107	102/50	109/45	17/135
10	20/128	1/153	1/153	0/154	81/69	7/146	26/128	42/108	148/3	150/4	38/113
30	3/133	20/121	64/77	25/115	127/15	128/11	120/21	16/125	95/48	94/48	91/47
50	8/95	5/101	50/55	6/98	103/3	58/16	/	31/42	76/29	71/25	96/9
75	26/40	1/65	18/46	1/64	64/1	/	/	/	42/19	40/24	47/18
100	33/6	0/41	3/37	0/40	40/0	/	/	/	4/8	5/9	25/16
>100	27/5	1/34	2/33	0/35	35/0	/	/	/	3/3	3/4	22/13

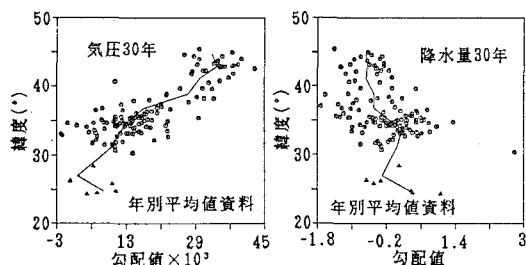


図-2 気圧および降水量勾配値と緯度との関係

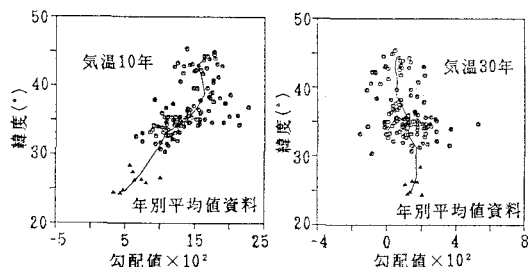


図-3 気温勾配値と緯度との関係

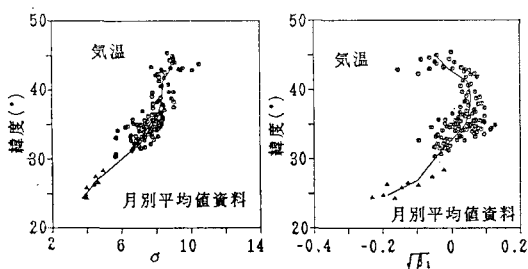


図-4 気温の標準偏差および skewness と緯度との関係

勾配値が正負の値をとる地点の数がほぼ同数に近づくことから、日本全体の温暖化は年平均日最高気温よりむしろ年平均気温や年平均日最低気温の上昇という形態で現われていると考えられる。

(3) 平均値特性

月別平均値資料と日別平均値資料および特別値資料に基づく各気象要素の平均統計量の地域・緯度依存性を調べたところ、湿度、風速および雲量を除く気象要素は図-4に例示するように、かなり明確な依存性をもつことが見出された。

4. 気象要素の周期性

図-5は評価時間が異なる気圧資料のスペクトルの1例を示したものである。年別平均値スペクトルでは2～20年の間でいくつかのピークが存在するが、計算条件が地点ごとに異なる今回の解析では卓越周期が気象要素あるいは地点ごとに変動し、その結果、地域や緯度との明

確な相関性は見出せなかった。月別平均値スペクトルは季節変化に対応して12、6および4ヶ月にピークをとる以外はホワイトノイズ的である。日別平均値スペクトルはこれに加えて、4～5日以下で急減し、特別値スペクトルは4～5日以下の急減域で、気圧では大気潮汐に起因し、気温および風速では日変化とその高調波成分に対応して24、12および8時間に鋭いピークをもつ。

月別平均値スペクトルの各ピークのうち、12ヶ月成分が最も大きいのが、その卓越度は、気温3要素や蒸気圧のように12ヶ月成分が圧倒的な大きさをもつものから、風速、雲量および降水量のように12ヶ月成分が他の成分の数倍程度のものまで、気象要素あるいは地点ごとに幅広く変動する。また、気圧、気温3要素および蒸気圧のピーク成分（無次元形）は図-6に例を示すように、明確な緯度依存性を有するのに対し、湿度、雲量、日照時間および日照率のピーク成分は緯度依存性に加えて太平洋側と日本海側との差というような地域依存性も有するし、降水量のピーク成分には内陸側と沿岸部という形で対比される地域依存性がみられる。しかし、風速のピーク成分は緯度および地域依存性をあまり示さない。

図-7は、スペクトルのピーク成分に明確な緯度依存性がみられた気圧および気温の累年月別平均値に対するFourier解析結果のうち、12、6および4ヶ月成分の振幅(A_1 , A_2 , A_3)を緯度 2° ごとに平均した値と緯度

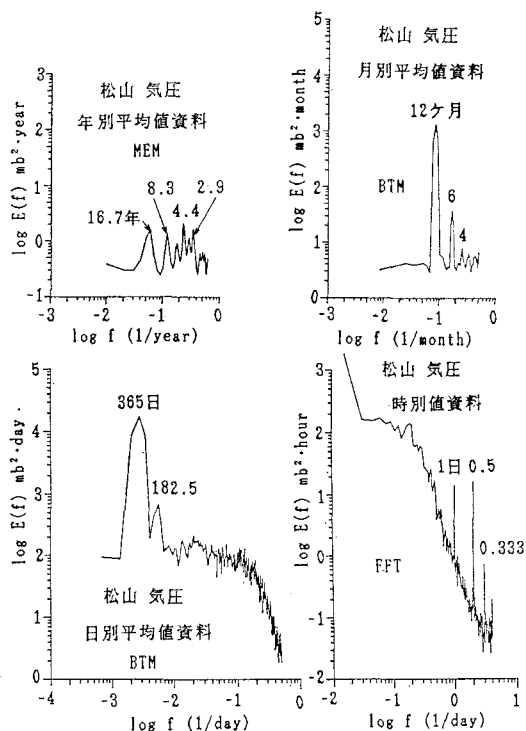


図-5 気圧資料のスペクトル

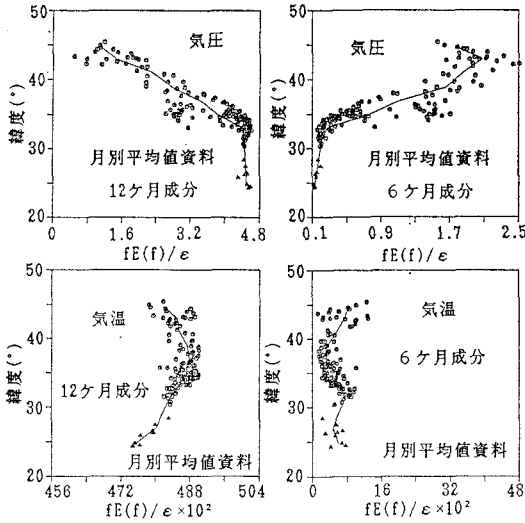


図-6 卓越周期成分と緯度との関係(1)

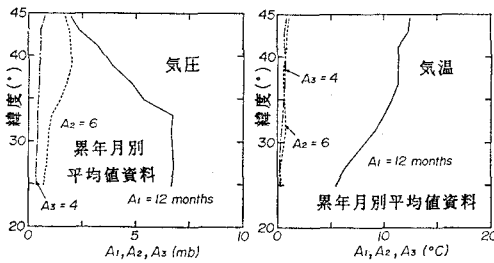


図-7 Fourier成分と緯度との関係(1)

との関係を示したものであり、いずれも12ヶ月成分が卓越する。しかし、気圧については12ヶ月成分は緯度とともに減少し、6ヶ月成分はやや上昇することから、高緯度地域では両者の値が接近する。つまり、高緯度地域での気圧は12ヶ月のみならず6ヶ月成分が重畳した経月変化を示す。また、低緯度地域ほど気温の経月変化が小さい特性を反映して、12ヶ月成分も減少する。

図-8は気圧、気温および風速の日別平均値スペクトルから求めた10~20日周期帯の無次元エネルギーと緯度との関係および各周期帯別無次元エネルギーの緯度 2° ごとの平均値と緯度との関係をまとめて示したものであり、各ケースは1年周期成分を代表する292~487日周期帯のエネルギーを除き、個々の資料と緯度との間にかなり高い相関が見出されるものである。これによると、10~20日周期帯のエネルギーは気圧の場合、南西諸島ではほぼ一定値をとったのち、緯度の増加とともに増加し、気温および風速の場合、'く'の字形をとって北緯 35° 以南で緯度の減少とともに増加するという全く逆の傾向を示す。こうした傾向は40.6~60.8日周期帯エネルギーおよび2~10日周期帯エネルギー(風速は逆の傾向)につい

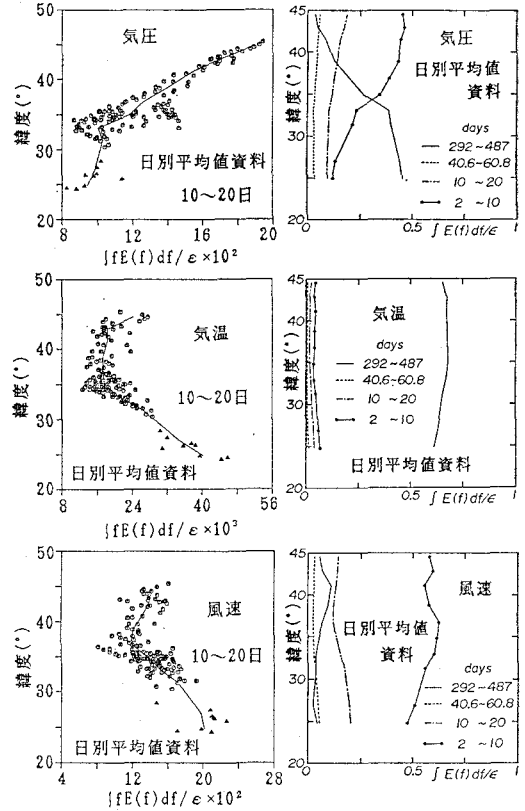


図-8 周期帯別無次元エネルギーと緯度との関係

てもみられる。ついで、周期帯別エネルギーの平均値と緯度との関係図によると、12ヶ月成分の卓越する気温、2~10日のシノプティックスケール成分が卓越する風速、その中間で高緯度地域でシノプティックスケール成分が、低緯度地域で12ヶ月成分が卓越する気圧のように、気象要素ごとに異なる緯度依存性が見出される。ただし、60日以下の周期帯別エネルギーの全エネルギーに占める割合がおおむねそれほど大きくないため、上述の緯度依存性はあまり明確には表現されない。

図-9は気圧、気温および風速の特別値スペクトルから得られた9.1日成分および12時間成分の無次元スペクトル値と緯度との関係を図示したものである。シノプティックスケールに相当する9.1日成分はいずれの要素についてもかなり明確な緯度依存性を示し、気圧では高緯度地域ほど大きく、気温および風速では低緯度地域のうち南西諸島で増加する。一方、気温および風速の12時間成分はかなりばらつきが大きいのにに対し、大気潮汐を表すと考えられる気圧の12時間成分は緯度とともに低下することから、大気潮汐の影響が低緯度地域ほど顕著になるという従来の成果が再確認される。

図-10は累年特別平均値資料に対するFourier解析から得られた24, 12および8時間成分の振幅(A_1 , A_2 ,

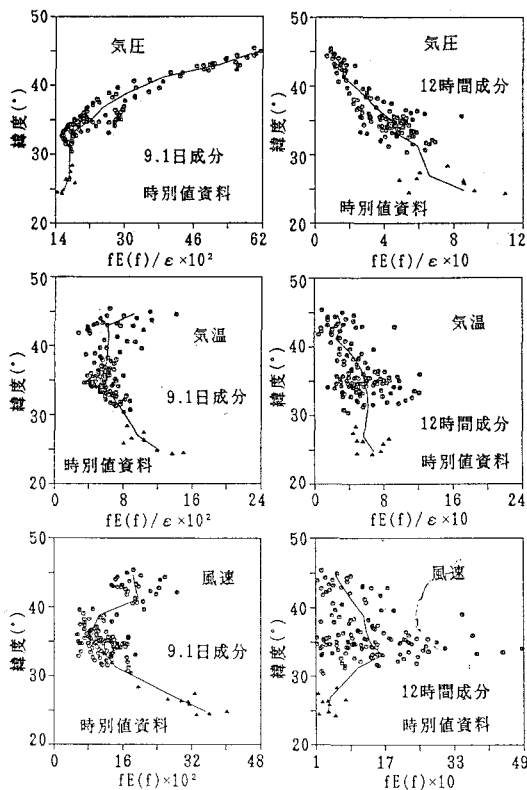


図-9 卓越周期成分と緯度との関係 (2)

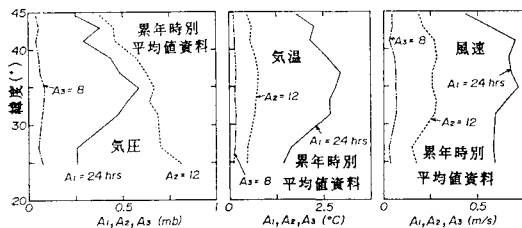


図-10 Fourier 成分と緯度との関係 (2)

A_3 の緯度 2° ごとの平均値と緯度との関係図であり、これらの基となる資料は、図-9 の結果から類推されるように、かなりのばらつきを伴っているが、それぞれの平均的な傾向や相対的な大きさの比較に使用することはできよう。気圧では、前述のように大気潮汐の影響が強

いことから、大気の下層にまで伝播しやすい12時間成分が最も大きく、24時間および8時間成分の順に小さくなるが、気温および風速（風速成分 U_x および U_y を含む）では、気温の日変化や温度風および海陸風の影響によって24時間成分が卓越し、12時間および8時間成分の順をとる。

5. 結 語

本研究で得られた結果はつぎのように要約される。

- (i) 長期的にみて、わが国は温暖乾燥化傾向にあるが、最近10年間ではむしろ温暖湿潤化傾向にある。
- (ii) 湿度、風速および雲量を除く各気象要素の平均統計量はかなり明確な地域・緯度依存性を示す。
- (iii) 各気象要素スペクトルは12、6および4ヶ月と24、12および8時間の卓越したピークに加えて、いくつかの小ピークをもつ以外ホワイトノイズ的であるが、シノプティックスケールに対応する4～5日より高周波側で急減する。
- (iv) 12ヶ月などの卓越周期成分および数十日以下の周期帯別エネルギーは明確な地域・緯度依存性を示すものが多いが、その依存度は気象要素ごとに異なる。

最後に、本研究に際し助言を戴いた香川大学教育学部森 征洋教授、気象資料の収集に際し種々の援助を戴いた五洋建設株式会社、図の整理を手伝った東洋建設株式会社児島史剛君ならびに、本論文の作成に協力した愛媛大学大学院工学研究科旭置武志君に感謝します。

参 考 文 献

- 甲斐憲次 (1984): 30 m 鉄塔で観測された風速変動と気圧変動の長周期スペクトル, 天気, 第31巻第4号, pp. 19-25.
- 気象庁編 (1989): 異常気象レポート '89 近年における世界の異常気象と気候変動—その実態と見通し (IV)—, 433 p.
- 花房龍男 (1977): スペクトル解析の方法と気象要素のスペクトル, 気象研究ノート, 第131号, pp. 1-60.
- 森 征洋 (1986): 日本における風の年変化の気候学的特性について, 天気, 第33巻第10号, pp. 55-65.
- 山元龍三郎・西 遼敬・角野有香・星合 誠 (1990): 海上の気温の長期変動, 号外 海洋, No. 3, pp. 31-34.
- Kai, K. (1987): Spectrum climatology of the surface winds in Japan, Part II: The diurnal variation, the synoptic fluctuations, the 10-20 day fluctuations and the annual variation, J. Meteorol. Soc. Japan, Vol. 65, No. 5, pp. 751-765.